MATERIAL DIDÁCTICO
AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN

16

Trabajo práctico de climatología

Aplicación de índices y clasificaciones climáticas

Marisol Andrades Rodríguez







TRABAJO PRÁCTICO DE CLIMATOLOGÍA

Aplicación de índices y clasificaciones climáticas

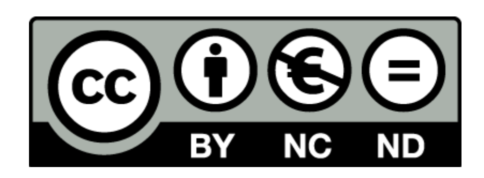
Marisol Andrades Rodríguez

TRABAJO PRÁCTICO DE CLIMATOLOGÍA

Aplicación de índices y clasificaciones climáticas

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Servicio de Publicaciones
2017

ANDRADES RODRÍGUEZ, Marisol
Trabajo práctico de climatología : aplicación de índices y clasificaciones climáticas [Recurso electrónico] / Marisol Andrades Rodríguez. – Logroño : Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones, 2017.
31 p. ; v. digital. – (Material didáctico. Agricultura y alimentación ; 16)
ISBN 978-84-697-5228-9
1. Climatología. I. Título. II. Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones. III. Serie.
551.58



publicaciones.unirioja.es

E-mail: publicaciones@unirioja.es

ISBN 978-84-697-5228-9

Edita: Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones

Estudio climatológico de La Rioja

La influencia del clima en el crecimiento, desarrollo y productividad de los cultivos no responde generalmente a la acción aislada de un determinado elemento, sino a la acción combinada de varios o incluso de todos los elementos climáticos. Por esta razón resulta necesario caracterizar las condiciones climáticas de una región, considerando la acción acumulativa de todos los factores integrantes del clima, para poder estudiar su influencia sobre el desarrollo vegetal.

El estudio climatológico a realizar constará de las siguientes fases:

1. **Introducción al trabajo: selección y estudio de la dotación de las Estaciones Meteorológicas y recogida de datos**
2. **Estudio estadístico de las variables climáticas dadas por la Estación Meteorológica**
3. **Aplicación de los siguientes índices fitoclimáticos**
4. **Clasificaciones climáticas**

1. Introducción al trabajo: selección y estudio de la dotación de las Estaciones Meteorológicas y recogida de datos

a. Seleccionar tres observatorios situados a distinta altura: uno de la montaña (Valvanera, Ortigosa, Mansilla, etc.), otro del valle (Haro, San Asensio, Cenicero, Rincón de Soto, Alfaro, Logroño, etc.) y otro de una zona intermedia (Cuzcurrita, Baños, El Redal, etc.). De igual manera se pueden elegir tres estaciones completas que estén situadas en las tres subzonas de la D.O. Ca Rioja. En ambos casos observaremos las diferencias climáticas que se dan en una región de tamaño reducido como es La Rioja o las diferencias que se dan en las subzonas Rioja Alta, Baja y Alavesa, diferencias que influirán en la producción de vinos de distintas características.

b. Indicar los datos de situación de los observatorios seleccionados: zona de La Rioja/subzona en la que están, coordenadas referidas al meridiano de Greenwich (longitud W/E y latitud N/S en grados, minutos y segundos) y la altitud.

c. Detallar la dotación con que cuenta el observatorio seleccionado.

d. Solicitar los datos climáticos necesarios a la Agencia Estatal de Meteorología del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España.

e. Recopilar de datos de las siguientes variables climáticas, durante el período de tiempo que se establezca, en cada observatorio:
   - Temperaturas medias, media de máximas y media de mínimas (°C).
   - Precipitación mensual (mm = l/m^2)
   - Humedad relativa (%)
   - Nº de días de lluvia
   - Nº de días de rocío
   - Nº de días de niebla

Para recopilar estos datos es necesario conocer que las abreviaturas utilizadas en los resúmenes mensuales de temperaturas y de precipitación son las siguientes:

Las abreviaturas utilizadas en los resúmenes mensuales de temperaturas son las siguientes:

- T. MAX: temperatura máxima del mes (°C).
- T. MIN: temperatura mínima del mes (°C).
- M. MAX: media mensual de las máximas (°C).
- M. MIN: media mensual de las mínimas (°C).
- M. MES: temperatura media mensual (°C).

Las abreviaturas utilizadas en los resúmenes mensuales de precipitación son las siguientes:

- P. TOT: precipitación total mensual (mm)
- L: nº de días de lluvia
- N: nº de días de nieve
- =: nº de días de niebla
- R: nº de días de rocío

En este trabajo estudiaremos un número reducido de años por razones prácticas, ya que sólo así nos podemos adaptar al tiempo disponible según los ECTs de esta parte de la asignatura. No obstante, hay que tener claro que desde 1935 se acordó en el Comité Meteorológico Internacional de la Conferencia de Varsovia, recopilar los valores medios durante un periodo uniforme con el fin de garantizar la compatibilidad entre los datos recogidos en diversas estaciones del mundo. Tras muchos debates internacionales, a finales del siglo XIX y principios del XX se fijó un periodo 30 años como el periodo de promediación más adecuado para el cálculo de las normales climatológicas (Organización Meorológica, 2007).

2. Estudio estadístico de las variables climáticas dadas por la Estación Meteorológica

El estudio estadístico de las variables climáticas será el siguiente:

2.1. En relación a la temperatura

2.1.1. Calcular la temperatura media anual, la temperatura media de la media de máximas y la temperatura media de media de mínimas anuales

2.1.2. Calcular la temperatura media de cada estación y sus desviaciones típicas en relación a la media anual:

- Primavera: marzo + abril + mayo
- Verano: junio + julio + agosto
- Otoño: septiembre + octubre + noviembre
- Invierno: diciembre + enero + febrero

2.2. En relación a la precipitación

2.2.1. Calcular la precipitación anual

2.2.2. Calcular la precipitación estacional

2.2.3. Indicar el % que supone la precipitación mensual respecto a la anual y la estacional en relación a la anual

2.2.4. Indicar los siguientes datos:

- El mes más frío y más cálido
- El mes más y menos lluvioso
- La estación más lluviosa y más seca
- La variación interanual de P y T mediante el cálculo del coeficiente de variación como la relación porcentual de la desviación típica frente a la media
- Comprobar si el descenso pluviométrico es en otoño que es cuando las plantas no lo notan por estar en reposo vegetativo y si la máxima cantidad la reciben en primavera y verano, período de mayor actividad vegetativa y reproductora, que es cuando más lo necesitan.

3. Aplicación de los siguientes índices fitoclimáticos

Estos índices son relaciones numéricas entre los distintos elementos de un clima, que pretenden cuantificar la influencia de éste sobre las comunidades vegetales.

La aridez del clima es el aspecto que se encuentra más frecuentemente expresado en forma de índices por los distintos autores, por ser un factor limitante para la vida de las comunidades vegetales.

3.1. Índice de pluviosidad de Lang

Este índice se calcula mediante la siguiente fórmula:

$I_L = P / T$

Donde:

I_L = Índice de Lang

P = precipitación anual en mm

T = temperatura media anual en °C

Tabla 1. Zonas climáticas de Lang

Índice de Lang	Zona climática
$0 \leq I_L < 20$	Zona desértica
$20 \leq I_L < 40$	Zona árida
$40 \leq I_L < 60$	Zona húmeda de estepa y sabana
$60 \leq I_L < 100$	Zona húmeda de bosques claros
$100 \leq I_L < 160$	Zona húmeda de bosques densos
$I_L \geq 160$	Zona superhúmeda (prados, tundras)

La intensidad de la precipitación a lo largo de los meses del año se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ip= R/N

Donde:

Ip = Intensidad de precipitación de cada mes

R = precipitación del mes (mm)

N = nº de días de precipitación líquida

La intensidad de la precipitación a lo largo de todo el año se representa mediante un diagrama de barras, poniendo en abscisas los meses del año y en ordenadas la intensidad de

precipitación mensual. Un ejemplo de diagrama de barras se recoge en la Figura 1. Este índice se caracteriza por variar mucho a lo largo de los años.

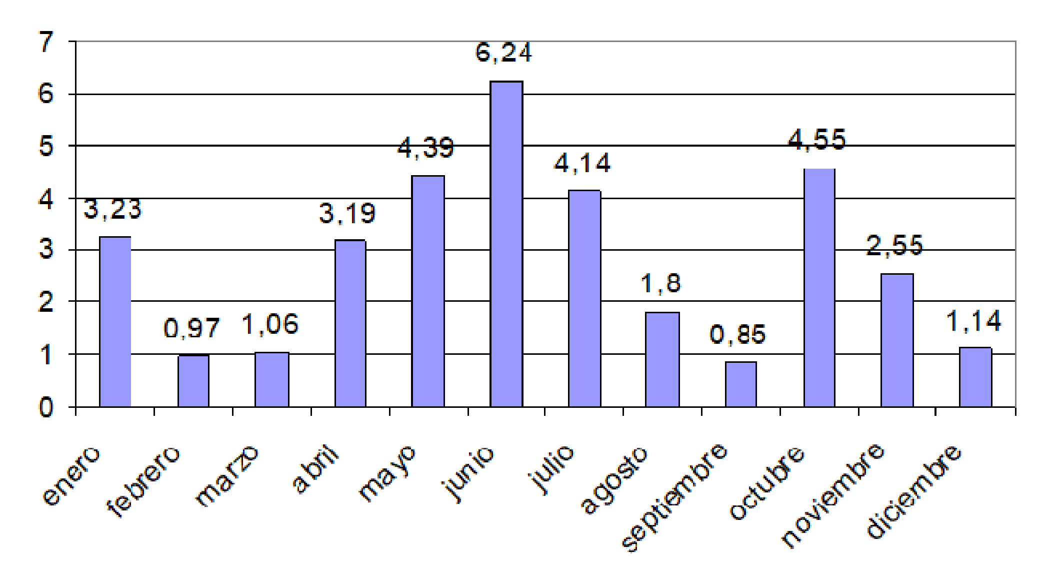


Figura 1. Intensidad de precipitación a lo largo de los meses del año

En este apartado se calcula el índice de pluviosidad de Lang para el año o los años estudiados, así como la intensidad de precipitación para cada mes del año y se indican cuáles son los cuatro meses de menor precipitación del año por orden decreciente de lluvias.

3.2. Índice de aridez de Martone

Este índice se calcula mediante la siguiente fórmula:

$I_m = P / (T + 10)$

Donde:

I_m = índice de Martone

P = precipitación anual (mm)

T = temperatura media anual (°C)

Tabla 2. Zonas climáticas de Martone

Índice de Martone	Zona climática
$0 \leq I_m < 5$	Desiertos
$5 \leq I_m < 10$	Semidesiertos
$10 \leq I_m < 20$	Estepas y países secos mediterráneos
$20 \leq I_m < 30$	Regiones de olivo y cereal
$30 \leq I_m < 40$	Regiones subhúmedas de prados y bosques
$I_m \geq 40$	Zonas húmedas a muy húmedas

Este índice es tanto más bajo cuanto más árido es el clima.

Para calcular el índice de aridez para un mes en particular se utiliza la siguiente expresión:

$I'_M = 12p / (t + 10)$

Donde:

I'_M es el índice de aridez mensual

P es la precipitación mensual (mm)

T es la temperatura media mensual (°C)

En este apartado se calcula el índice de Martone para el año o años estudiados, así como el índice de aridez para cada mes del año y se indican cuáles son los cuatro meses más áridos del año por orden decreciente de aridez.

3.3. Índice de Dantin y Revenga aplicado a la Península Ibérica

Este índice se calcula mediante la siguiente fórmula:

$I_{DR} = 100T / P$

Donde:

I_{DR} = índice de Dantin y Revenga

Tm = temperatura media anual (°C)

P = precipitación anual (mm)

Tabla 3. Zonas climáticas de Dantín y Revenga

Índice termopluviométrico	Designación de la zona climática
0 - 2	Zona húmeda
2 - 3	Zona semiárida
3 - 6	Zona árida
> 6	Zona subdesértica

En este apartado se calcula la aridez según el índice de Dantin y Revenga para el año o años estudiados y se interpretan los resultados según los datos aportados por la tabla siguiente:

4. Clasificaciones climáticas

4.1. Clasificación bioclimática UNESCO-FAO

Esta clasificación se basa en el estudio de:

a. Las temperaturas
b. La aridez
c. Los índices xerotérmicos

Los datos climáticos que se necesitan en esta clasificación son los siguientes:

- Tª media mensual (°C)
- Tª media de las mínimas (°C)
- Precipitación mensual (mm)
- Número de días de lluvia, niebla y rocío
- Humedad relativa (%)

Para facilitar la aplicación de la clasificación climática vamos a cumplimentar la siguiente tabla a partir de los datos de los resúmenes de temperatura, precipitación y humedad relativa aportados para la realización del trabajo:

Año	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	∑
T media													
T media de máximas													
T media de mínimas													
HR													
Días de lluvia													
Días de rocío													
Días de niebla													
Días de nieve													
Precipitación mensual													

4.1.1. Temperatura

Se define como:

- mes cálido aquel cuya temperatura media mensual es superior a 20°C
- mes templado aquel cuya temperatura media mensual varía entre 0 y 20°C
- mes frío aquel cuya temperatura media mensual es inferior a 0°C

Según la temperatura media del mes más frío y las siguientes condiciones se definen tres grupos de climas:

Grupo 1: climas templados, templado-cálidos y cálidos. La temperatura media del mes más frío es superior a 0°C

Grupo 2: climas templado-fríos y fríos. La temperatura media de algunos meses es inferior a 0°C

Grupo 3: climas glaciares. La temperatura media de todos los meses del año es inferior a 0°C ($tm_{12} < 0$). Este grupo se define con la temperatura media del mes más cálido

Según la temperatura media de las mínimas del mes más frío y las siguientes condiciones se definen a su vez dentro de cada grupo anterior nuevas subdivisiones:

Tabla 4. Grupos de climas según la Tª media del mes más frío (UNESCO-FAO)

Clase	Condiciones
Grupo 1	Tm1 > 0
Cálido	Tm1 ≥ 15
Templado-cálido	15 > Tm1 ≥ 10
Templado-medio	10 > Tm1 > 0
Grupo 2	$0 \geq Tm_1$
Templado-frío	$0 > Tm_1 \geq -5$
Frío	$-5 > Tm_1$
Grupo 3	$0 > Tm_{12}$
Glacial: todos los meses del año con tm negativa	$0 > Tm_{12}$

Tm_i es la temperatura media del mes más frío

Tm_{12} es la temperatura media de los doce meses del año

Se concede importancia al rigor de la estación fría, por lo que se definen los siguientes tipos de invierno en función de la temperatura media de mínimas del mes más frío (t_1) y determinadas condiciones.

Tabla 5. Tipos de invierno (UNESCO-FAO)

Tipo invierno	Condiciones
Sin invierno	$t_1 \geq 11°C$
Cálido	$11 > t_1 \geq 7$
Suave	$7 > t_1 \geq 3$
Moderado	$3 > t_1 \geq -1$
Frío	$-1 > t_1 \geq -5$
Muy frío	$-5 > t_1$

t_1 = temperatura media de las mínimas del mes más frío

4.1.2. Aridez

La existencia de período o períodos secos se determina mediante el diagrama ombrotérmico de Gaussen. El diagrama es una gráfica con dos ejes de ordenadas donde se representan los valores de las precipitaciones (P) y de temperaturas medias (tm), de forma que P = 2 x tm, y en abscisas los meses del año. La zona o zonas de la gráfica en las que P < 2 x tm se corresponden con el período o períodos secos.

Para facilitar el cálculo se puede hacer una tabla como la siguiente:

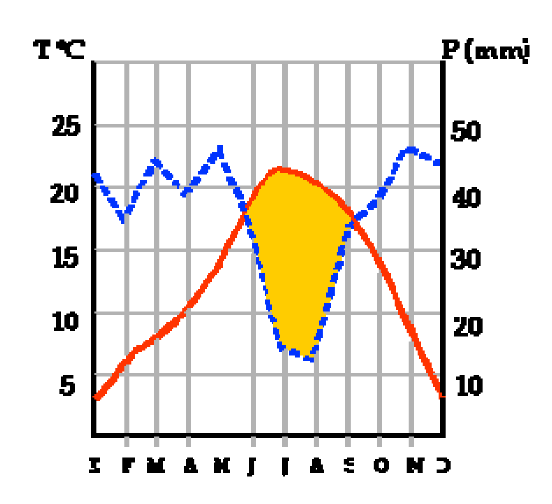
Donde:

P es la precipitación mensual (mm)

tm es la temperatura media mensual (°C)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VII	IX	X	XI	XII
tm												
P												
2 x tm												

Y un ejemplo de diagrama ombrotérmico sería el siguiente:



- Si la curva pluviométrica va siempre por encima de la térmica, no hay periodo seco: correspondería a un clima axérico.
- Si la curva pluviométrica va por debajo de la térmica en un tramo, hay un período seco: correspondería a un clima monoxérico. Como el del caso de la gráfica puesta como ejemplo.
- Si la curva pluviométrica va por debajo de la térmica en dos tramos: dos periodos secos: correspondería a un clima bixérico.

Tabla 6. Clasificación del clima según la aridez de UNESCO FAO

Axérico		Ningún mes seco
Xérico	Áridos	Período seco mayor de 9 meses
	Mediterráneo	Período seco: 1 a 8 meses. Coincidiendo con la estación cálida de días más largos
	Tropical	Período seco: 1 a 8 meses. Coincidiendo con la estación de los días más cortos
Bixérico		Período seco de 1 a 8 meses, sumando dos períodos diferenciados de sequía

4.1.3. Índices Xerotérmico mensual, anual y del período seco

Los índices xerotérmicos se emplean para caracterizar la intensidad de la sequía. El índice xerotérmico mensual (X_m) señala el número de días del mes que pueden considerarse biológicamente secos. Representa los días del mes que no son de lluvia y en menor medida (divididos por dos), que no son de niebla ni de rocío; y está afectado por un coeficiente reductor a medida que la humedad relativa es mayor.

Por tanto, se considera:

- días sin lluvia
- considerar medios secos los días de niebla y rocío
- HR < 40% se considera día seco para las plantas
- HR = 100% se considera medio seco para las plantas

El índice xerotérmico mensual se expresa de la siguiente forma:

$X_m = [N – (P + b/2)] \times f$

Donde:

X_m = índice xerotérmico mensual

N = nº de días del mes

P = nº de días de lluvia durante el mes

b = nº de días de niebla + rocío durante el día, sumando todos los del mes

f = factor que depende de la humedad relativa (HR) media diaria.

Para valores intermedios se utiliza la tabla7.

Tabla 7. Valores de HR media diaria y coeficiente de corrección o de sequía

HR (%	f	HR (%	f
< 40	1	80 ≤ HR < 90	0,7
40 ≤ HR < 60	0,9	90 ≤ HR < 100	0,6
60 ≤ HR < 80	0,8	HR = 100	0,5

Se define el índice xerotérmico anual como suma de los índices xerotérmicos mensuales para aquellos meses en los cuales la precipitación media (mm) es menor o igual a dos veces su temperatura media (°C).

Para calcular el índice xerotérmico de un periodo seco (IPx) se suman los índices mensuales que corresponden a la duración del periodo seco. Se obtiene a partir del diagrama sumando los índices xerotérmicos de los meses completos que alcance el periodo de aridez y la parte proporcional de los meses primero y último de aridez.

$Ipx = \sum X_m$

En climas axéricos Ipx = 0

Para facilitar la aplicación de la fórmula se puede hacer la tabla:

Meses del año	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
N												
P												
B												
f												
HR												
X_m												

Las subdivisiones por aridez son diferentes para los diferentes grupos térmicos. A continuación, se encuentran las del Grupo 1 y 2.

Tabla 8. Subdivisión por aridez dentro del Grupo térmico 1, cálido, templado-cálido y templado

Subdivisión	Tipo	Condiciones
Axéricos		
	Cálido ecuatorial	$tm_1 \geq 20$
	Cálido subecuatorial	$20 > tm_1 \geq 15$
	Templado cálido	$15 > tm_1 \geq 10$
	Templado medio	$10 > tm_1 \geq 0$
	Templado de transición	tm1 <0
Xéricos		Los meses con Pi < $2tm_i$ son consecutivos
	Desértico	X > 300
	Subdesértico acentuado	300 ≥ X > 250
	Subdesértico atenuado	250 ≥ X > 200
	Xeromediterráneo	200 ≥ X > 150*
	Termomediterráneo acentuado	150 ≥ X > 125*
	Termomediterráneo atenuado	125 ≥ X >100*
	Mesomediterráneo acentuado	100 ≥ X > 75 *
	Mesomediterráneo atenuado	75 ≥ X > 40 *
	Submediterráneo	40 ≥ X > 0 *
	Tropical acentuado	200 ≥ X > 150**
	Tropical medio	150 ≥ X > 100**
	Tropical atenuado	100 ≥ X> 40**
	Tropical de transición	40 ≥ X > 1 **
Bixéricos		Los meses con Pi < $2tm_i$ no son consecutivos
	Bixérico acentuado	200 ≥ X > 150 ***
	Bixérico medio	150 ≥ X >100 ***
	Bixérico atenuado	100 ≥ X >40 ***
	Bixérico de transición	40 ≥ X >1 ***

* Subdivisión de climas mediterráneos en los que el período seco debe coincidir con los días más largos.

** Subdivisión de climas tropicales (en los que el periodo seco coincide con la estación de los días más cortos) que no cumplen la condición de los mediterráneos, y a los que se añade la calificación de cálidos (si tm_1>15) o de templados (si tm_1≤15).

*** Subdivisión de clima bixérico (suma dos períodos de sequía) Se le añade la clasificación de cálidos (si tm_1>15) o de templados (si tm_1≤15).

Tabla 9. Subdivisión por aridez dentro del Grupo térmico 2, templado frío y frío

Tipo	Condiciones
Desértico frío	12 > Mhs ≥ 11
Subdesértico	10 ≥ Mhs ≥ 9
Frío de estepa	8 >Mhs ≥ 5
Subaxérico frío	4 ≥ Mhs ≥ 2

Mhs: número de meses afectados por heladas o por sequía.

Cabe resaltar en estas subdivisiones por aridez, que cuando no hay un período seco las subdivisiones son por temperatura y que en los climas fríos se considera una "aridez por helada" que se suma a la hídrica. En el resto de los casos la aridez viene definida por el índice xerotérmico anual.

4.2. Clasificación climática de THORNTHWAITE

En 1948, Thornthwaite propuso una clasificación climática cuya principal característica fue la utilización de la evapotranspiración potencial como parámetro fundamental para la delimitación de los distintos tipos climáticos, teniendo en cuenta el clima que afecta al suelo y a la planta, es decir la evaporación, la transpiración y el agua disponible en el suelo.

Las clasificaciones anteriores empleaban generalmente medidas directas de elementos meteorológicos (fundamentalmente temperatura del aire y precipitación) para establecer una correspondencia entre los valores de estas variables y el tipo de vegetación.

Thornthwaite consideró necesario emplear variables más complejas, que permitieran resumir la acción recíproca entre la vegetación y la atmósfera. Consideró que el proceso principal de intercambio de energía y humedad entre la superficie terrestre y la atmósfera era la evapotranspiración y su medida la variable fundamental para su clasificación climática (Thorntwaite y Hare, 1955).

Introduce el concepto de evapotranspiración potencial, que sería la evapotranspiración que se lleve a cabo si el agua evaporable fuera renovada constantemente en su origen, sea éste edáfico o biológico. Se estima a partir de datos climatológicos simples, mediante métodos diversos. Es importante señalar que la evapotranspiración potencial constituye una variable climatológica, independiente del suelo y de la vegetación, y que depende únicamente de las condiciones atmosféricas. Se considera una aproximación, satisfactoria en general de las "necesidades de agua" del suelo.

El sistema de clasificación de Thornthwaite no tiene en cuenta ninguna consideración sobre el tipo de vegetación.

La fórmula empleada para caracterizar un clima, según Thornthwaite, está compuesta por cuatro letras y unos subíndices. Las dos primeras letras, mayúsculas, se refieren al índice de humedad y a la eficacia térmica de la zona, respectivamente. La tercera y cuarta letras, minúsculas, corresponden a la variación estacional de la humedad y la concentración térmica en verano, respectivamente.

4.2.1. Determinación del índice de humedad. Balance del agua

Es necesario hacer un balance de agua en el suelo que intervengan:

- Precipitaciones mensuales (P)
- Evapotranspiraciones potenciales medias mensuales (ETP)
- Reservas de agua del suelo (R)
- Variación de la reserva de agua (VR)
- Evapotranspiraciones reales mensuales (ETR)
- Déficits mensuales de agua (D)
- Excesos mensuales de agua (E)

Para calcular el índice de humedad se calcula la ETP anual y los índices de falta y exceso de humedad anuales.

a. Cálculo de la ETP anual

La ETP se puede definir como la cantidad de agua que perderá una superficie completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo si en todo momento existe en el suelo humedad suficiente para obtener una cosecha óptima.

En este apartado vamos a calcular la ETP sin ajustar y la ETP ajustada.

A partir de las temperaturas medias mensuales (°C) se determina la denominada evapotranspiración sin ajustar mensual (E) en cm, que corresponde a valores calculados para meses ficticios de 30 días y 12 horas de insolación diaria. El valor de la ETP sin ajustar mensual en cm se calcula mediante la fórmula:

$E = 1,6\ (10\ tm/I)$

Realizamos los siguientes pasos:

a. Se calcula el índice de calor mensual (i) a partir de la temperatura media mensual (t). Se puede calcular a través de la siguiente fórmula o a través de la tabla.

$I=(t/5)^{1,514}$

b. Se calcula el "índice de calor anual" de la zona (I) sumando los 12 valores de los índices de calor mensual (i)

$I = \sum i$

c. Se calcula la ETP mensual sin ajustar:

ETP sin corregir = 1,6 (10 t/I)

Donde:

ETP sin ajustar = evapotranspiración mensual sin ajustar en cm (mm/mes)

t = temperatura media mensual (°C)

I = índice de calor anual de la zona

$A = 675 \times 10^{-9} - 771 \times 10^{-7} \times I^2 + 1792 \times 10^{-5} \times I + 0,4923$

Se calcula la ETP ajustada para el número de días del mes y el número de horas de sol:

ETP ajustada = ETP sin ajustar x N/12 x d/30

Donde:

ETP ajustada = evapotranspiración mensual ajustada en cm (mm/mes)

N = nº máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud

D = nº de días del mes

El índice térmico de la zona (i) que está en función de la temperatura media anual se puede obtener en la siguiente tabla:

Tabla 10. Índice térmico de la zona y temperatura media anual

Tm (°C)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0			0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
1	0,09	0,1	0,12	0,13	0,15	0,16	0,18	0,2	0,21	0,23
2	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,42	0,44
3	0,46	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58	0,61	0,63	0,66	0,69
4	0,71	0,74	0,77	0,8	0,82	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97
5	1	1,03	1,06	1,09	1,12	1,16	1,19	1,22	1,25	1,29
6	1,32	1,35	1,39	1,42	1,45	1,49	1,52	1,56	1,59	1,63
7	1,66	1,7	1,74	1,77	1,81	1,85	1,89	1,92	1,96	2
8	2,04	2,08	2,12	2,15	2,19	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39
9	2,44	2,48	2,52	2,56	2,6	2,64	2,69	2,73	2,77	2,81
10	2,86	2,9	2,94	2,99	3,03	3,08	3,12	3,16	3,21	3,25
11	3,3	3,34	3,39	3,44	3,48	3,53	2,58	3,62	3,67	3,72
12	3,76	3,81	3,86	3,91	3,96	4	4,05	4,1	1,15	4,2
13	4,25	4,3	4,35	4,4	4,45	4,5	4,55	4,6	4,65	4,7
14	4,75	4,81	4,86	4,91	4,96	5,01	5,07	5,12	5,17	5,22
15	5,28	5,33	5,38	5,44	5,49	5,55	5,6	5,65	5,71	5,76
16	5,82	5,87	5,93	5,98	6,04	6,1	6,15	6,21	6,26	6,32
17	6,38	6,44	6,49	6,55	6,61	6,66	6,72	6,78	6,48	6,9
18	6,95	7,01	7,07	7,13	7,19	7,25	7,31	7,37	7,43	7,49
19	7,55	7,61	7,67	7,73	7,79	7,85	7,91	7,97	8,03	8,1
20	8,16	8,22	8,28	8,34	8,41	8,47	8,53	8,59	8,66	8,72
21	8,78	8,85	8,91	8,98	9,04	9,1	9,17	9,23	9,29	9,36
22	9,42	9,49	9,55	9,62	9,68	9,75	9,82	9,88	9,95	10,01
23	10,08	10,15	10,21	10,28	10,35	10,41	10,48	10,55	10,62	10,68
24	10,75	10,82	10,89	10,95	11,02	11,09	11,16	11,23	11,3	11,37
25	11,44	11,5	11,57	11,64	11,71	11,78	11,85	11,92	11,99	12,06
26	12,13	12,21	12,28	12,35	12,42	12,49	12,56	12,63	12,7	12,78
27	12,85	12,92	12,99	13,07	13,14	13,21	13,28	13,36	13,43	13,5
28	13,58	13,65	13,72	13,8	13,87	13,94	14,02	14,09	14,17	12,24
29	14,32	14,39	14,47	14,54	14,62	14,69	14,77	14,84	14,92	14,99
30	15,07	15,15	15,22	15,3	15,38	15,45	15,53	15,61	15,67	15,76
31	15,84	15,92	15,99	16,07	16,15	16,23	16,3	16,38	16,46	16,54
32	16,62	16,7	16,78	16,85	16,93	17,01	17,09	17,17	17,25	17,33
33	17,41	17,49	17,57	17,65	17,63	17,81	17,89	17,97	18,05	18,13
34	18,22	18,3	18,38	18,46	18,54	18,62	18,7	18,79	18,87	18,95
35	19,03	19,11	19,2	19,28	19,36	19,45	19,53	19,61	19,69	19,78
36	19,86	19,95	20,05	20,11	20,2	20,28	20,36	20,45	20,53	20,62
37	20,7	20,79	20,87	20,96	21,04	21,13	21,21	21,3	21,38	21,46
38	21,56	21,64	21,73	21,81	21,9	21,99	22,07	22,16	22,25	22,23

Para valores de temperatura media mensual superiores a 26,5°C, la ETP sin ajustar se obtiene directamente de la tabla.

Tabla 11. Valores de la ETP de Thornthwaite diaria (mm/día) sin corregir para temperaturas superiores a los 26,5°C

tm	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0	29.5	30.0	30.5	31.0	31.5	32.0
ETP sin ajustar	135.0	139.5	143.7	147.8	151.7	155.4	158.9	162.1	165.2	168.0	170.7	173.1
tm	32.5	33.0	33.5	34.0	34.5	35.0	35.5	36.0	36.5	37.0	37.5	38.0
ETP sin ajustar	175.3	177.2	179.0	180.5	181.8	182.9	183.7	184.3	184.7	184.9	185.0	185.0

La obtención de la evapotranspiración ajustada o evapotranspiración potencial (ETP), se realiza multiplicando los valores **e** por un coeficiente de corrección que tiene en cuenta la iluminación diaria y los días del mes y para una determinada latitud, los coeficientes de corrección de la evapotranspiración sin ajustar en los diferentes meses del año, se pueden obtener en la tabla siguiente:

Tabla 12. Coeficientes de corrección en función de la iluminación diaria, los días del mes y la latitud del lugar para el cálculo de la ETP ajustada

Lat,N,	**Ene,**	**Feb,**	**Mar**	**,Abr,**	**May,**	**Jun,**	**Jul,**	**Ago,**	**Sep,**	**Oct,**	**Nov,**	**Dic**
0	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
5	1,02	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02
10	1	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	0,98	0,99
15	0,97	0,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	0,95	0,97
20	0,95	0,9	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02	1	0,93	0,94
25	0,93	0,89	1,03	1,06	1,15	1,14	1,17	1,12	1,02	0,99	0,91	0,91
26	0,92	0,88	1,03	1,06	1,15	1,15	1,17	1,12	1,02	0,99	0,91	0,91
27	0,92	0,88	1,03	1,07	1,16	1,15	1,18	1,13	1,02	0,99	0,9	0,9
28	0,91	0,88	1,03	1,07	1,16	1,16	1,18	1,13	1,02	0,98	0,9	0,9
29	0,91	0,87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,19	1,13	1,03	0,98	0,9	0,89
30	9	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,2	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
31	0,9	0,87	1,03	1,08	1,18	1,18	1,2	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
32	0,89	0,86	1,03	1,08	1,19	1,19	1,21	1,15	1,03	0,98	0,88	0,87
33	0,88	0,86	1,03	1,09	1,19	1,2	1,22	1,15	1,03	0,97	0,88	0,86
34	0,88	0,85	1,03	1,09	1,2	1,2	1,22	1,16	1,03	0,97	0,87	0,86
35	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
36	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84
37	0,86	0,84	1,03	1,1	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83
38	0,85	0,84	1,03	1,1	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83
39	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	0,96	0,84	0,82
40	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
41	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,8
42	0,82	0,83	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04	0,95	0,82	0,79
43	0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,2	1,04	0,95	0,81	0,77
44	0,81	0,82	1,02	1,13	1,27	1,29	1,3	1,2	1,04	0,95	0,8	0,76
45	0,8	0,81	1,02	1,13	1,28	1,29	1,31	1,21	1,04	0,94	0,79	0,75
46	0,79	0,81	1,02	1,13	1,29	1,31	1,32	1,22	1,04	0,94	0,79	0,74
47	0,77	0,8	1,02	1,14	1,3	1,32	1,33	1,22	1,04	0,93	0,78	0,73
48	0,76	0,8	1,02	1,14	1,31	1,33	1,34	1,23	1,05	0,93	0,77	0,72
49	0,75	0,79	1,02	1,14	1,32	1,34	1,35	1,24	1,05	0,93	0,76	0,71
50	0,74	0,78	1,02	1,15	1,33	1,36	1,37	1,25	1,06	0,92	0,76	0,7

Para facilitar el cálculo de la ETP sin ajustar y ajustada se puede realizar la siguiente tabla:

	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**
T media (°C)												
Índice de calor												
ETP sin ajustar (cm)												
Coef. Corrección												
ETP ajustada (cm)												

Una vez calculada la ETP, se realiza un cuadro de “Balance de agua en el suelo”

En el balance de agua hay que tener en cuenta lo siguiente:

Precipitación: en mm

ETP: en mm

Reserva de agua (R_i) varía entre 0 y 100 mm

- Si $P < 2T$ $R_i = 0$
- Si $P > 2T$ $R_i = R_{i-1} + P_i – ETP_i$

Variación de reserva

$V_R = P – ETP$

Evapotranspiración real (ETR)

- Si $P_i + R_{i-1} > ETP_i$ $ETR = ETP_i$
- Si $P_i + R_{i-1} < ETP_i$ $ETR = P_i + R_{i-1}$

Déficit de agua $D_i = ETP_i – ETA_i$

Exceso de agua $E_i = P_i – ETP_i - V_{Ri}$

Drenaje = E

El concepto de reserva de agua de cada mes (R_i) se calcula de la siguiente forma:

La reserva oscilará entre 0 y 100 mm.

La reserva del mes “i” está en función de la del mes anterior “i-1” y será:

$R_i = R_{i-1} + (Pi – ETP_i)$ si $0 < R_{i-1} + (Pi – ETP_i) < Rmax = 100$ mm

$R_i = R\ max = 100$ mm si $R_{i-1} + (Pi – ETP_i) > Rmax = 100$ mm

$R_i = 0$ si $0 > R_{i-1} + (Pi – ETP_i)$

El exceso de agua y en consecuencia el drenaje aparecerá en aquellos meses en los que el H_20 en las reservas del suelo supere el valor de 100. El drenaje es cero cuando no hay exceso de agua.

Tabla 13. Balance del agua

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL
P(mm)													
ETP (mm)													
2T (ºC)													
Ri													
VR													
Pi + Ri-1													
ETA (mm)													
D													
E													
Drenaje													

b. Índices de humedad: índice de falta y exceso de humedad

El índice de exceso de humedad anual se determina mediante la siguiente expresión:

I_E = = 100 x $\Sigma^{XII}_{i=I} E_i$ /ETP = (Etotal / ETPanual) x 100

Donde:

E = exceso de agua anual

ETP = evapotranspiración anual (mm)

El índice de falta de humedad anual o índice de aridez se determina mediante la siguiente expresión:

I_a == 100 x $\Sigma^{XII}_{i=I}$ Di / ETP = (Dtotal / ETP anual) x 100

Donde:

D = déficit de agua anual

ETP = evapotranspiración anual (mm)

El índice de humedad anual y por tanto global se define como el porcentaje de excesos menos el 60% del porcentaje de falta de agua, es decir:

I_h = Índice de exceso de humedad – (0,6 x Índice de falta de humedad)

$I_h = I_E - 0,6 \times I_a$

A partir de estos índices se define el tipo de humedad según las siguientes condiciones:

Tabla 14. Tipos climáticos correspondientes al índice de humedad de Thornthwaite y siglas que los representan

Ih	Tipo climático	Sigla
$-40 \geq I_h > -60$	Árido	E
$-20 \geq I_h > -40$	Semiárido	D
$0 \geq I_h > -20$	Seco subhúmedo	C_1
$20 \geq I_h > 0$	Subhúmedo	C_2
$40 \geq I_h > 20$	Húmedo	B_1
$60 \geq I_h > 40$		B_2
$80 \geq I_h > 60$		B_3
$100 \geq I_h > 80$		B_4
Ih> 100	Perhúmedo	A

El índice de humedad es un porcentaje, pero relaciona dos parámetros independientes (P y ETP) por lo que puede tomar valores superiores a 100; el índice de aridez no, porque la falta de agua se define respecto a la evapotranspiración máxima: la ETP.

En el índice de humedad global se combinan el índice de humedad y el de aridez. Considerando que un exceso de humedad en un período puede compensar la falta en otro; empíricamente se parte de que 6 mm de exceso en una estación pueden compensar, con una transpiración reducida, 10 mm de falta en otro. Los límites del Im 100 y -60 son racionales desde el punto de vista de que la humedad compensa todas las necesidades de agua en el primero y la falta llega al 100 % de las necesidades en el segundo (afectado por 0,6 en el Im); la 0 marca el límite entre el exceso de agua y la falta de agua. El resto de los límites son convencionales.

4.2.2. Determinación de la variación estacional de la humedad

Interesa determinar si en los climas húmedos existe periodo seco, y si en los climas secos existe periodo húmedo. También se debe establecer la estación en que se presenten estos periodos y la intensidad de la sequía y humedad, respectivamente.

Para la determinación, se analizan los valores del "Índice de falta de humedad (I_D)" en los climas húmedos (con valores de índice de humedad: A, B y C_2), y del "Índice de exceso de humedad (I_E)" en los climas secos (con valores del índice de humedad: C_1, D y E).

Tabla 15. Variación estacional de la humedad según Thornthwaite y siglas que los representan

Tipo climático	Índice	Sigla
Para Climas Húmedos: Índice de aridez (Ia) Tipos climáticos según la humedad A, B, C_2		
16,7 > Ia ≥ 0	Nula o pequeña falta de agua	r
33,3 > Ia ≥ 16,7, Falta estival	Moderada falta de agua estival	s
33,3 > Ia ≥ 16,7, Falta invernal	Moderada falta de agua invernal	w
Ia > 33,3, Falta estival	Gran falta de agua estival	s_2
Ia > 33,3, Falta invernal	Gran falta de agua invernal	w_2
Para Climas Secos: Índice de humedad (I_E) Tipos climáticos según la humedad C_1, D, E)		
10 > Ih ≥ 0	Nulo o pequeño exceso de humedad	d
20 > Ih ≥ 10 Exceso estival	Moderado exceso de agua estival	s
20 > Ih ≥ 10 Exceso invernal	Moderado exceso de agua invernal	w
Ih ≥ 20 Exceso estival	Gran exceso de agua estival	s_2
Ih ≥ 20 Exceso invernal	Gran exceso de agua invernal	w_2

Para la distribución estacional de la humedad nos fijamos en la falta de agua, para los climas que globalmente tienen exceso y en el exceso, para los climas que tienen falta. Téngase en cuenta la dificultad para encontrar climas con exceso en verano, pues, aunque los hay con período de lluvias en verano las necesidades de evapotranspiración también aumentan.

4.2.3. Determinación de la eficacia térmica

Según Thornthwaite, la ETP es un índice de eficacia térmica y está formado por la suma de las ETP medias mensuales en mm del año (ETP = ∑ETP medias mensuales).

Tabla 16. Tipos climáticos según la eficacia térmica de Thornwaite y siglas que los representan

ETP anual (mm)	Tipo climático	sigla
142 ≥ ETP	Helada permanente	E'
285 ≥ ETP > 142	Tundra	D'
427 ≥ ETP > 285	Microtérmico	C'_1
570 ≥ ETP > 427		C'_2
712 ≥ ETP > 570	Mesotérmico	B'_1
855 ≥ ETP > 712		B'_2
997 ≥ ETP > 855		B'_3
1140 ≥ ETP > 997		B'_4
ETP > 1140	Megatérmico	A'

4.2.4. Determinación de la concentración térmica en verano

La concentración de la eficacia térmica en el verano se define como la ETP durante los meses de verano, en relación con la ETP anual y expresada en %:

$$ETPv\% = 100 \times (ETP_{VI} + ETP_{VII} + ETP_{VIII}) / ETP$$

Tabla 17. La concentración de la eficacia térmica en verano según Thornwaite y las siglas que lo representan

Cv	Tipo climático	Tipo
48,0 > ETPv%	Baja concentración	a´
51,9 > ETPv% ≥ 48,0	Moderada concentración	b'_4
56,3 > ETPv% ≥ 51,9		b'_3
61,6 > ETPv% ≥ 56,3		b'_2
68,0 > ETPv% ≥ 61,6		b'_1
76,3 > ETPv% ≥ 68,0	Alta concentración	c'_2
88,0 > ETPv% ≥ 76,3		c'_1
ETPv% ≥ 88,0	Muy alta concentración	d´

Según la clasificación climática de THORNTHWAITE

La fórmula para caracterizar un clima está compuesta por 4 letras y unos subíndices. Las dos primeras letras (mayúsculas), se refieren al índice de humedad y a la eficacia térmica de la zona, respectivamente. Las letras tercera y cuarta (minúsculas), corresponden a la Variación estacional de la humedad y a la concentración térmica en verano, respectivamente.

Bibliografía

Organización Meteorológica Mundial (2007). OMM-TD nº. 1377. Editado por: Omar Baddour y Hama Kontongomde.



Servicio de Publicaciones
Biblioteca Universitaria
C/ Piscinas, s/n
26006 Logroño (La Rioja)
Teléfono: 941 299 187

http://publicaciones.unirioja.es
www.unirioja.es